



Title	Simulation of Line Heating Using Gas Flame for Industrial Problems
Author(s)	Blandon, Juan
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/54001
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (Juan Blandon)	
Title	Simulation of Line Heating Using Gas Flame for Industrial Problems (ガス炎を用いた線状加熱シミュレーションの実用問題への展開)
Line heating is commonly employed as a forming method in shipyards. Different from mechanical plate forming, where the plate is pressed against a die of appropriate shape or is fed through a set of rollers to achieve the desired curvature; this method produces permanent deformation by means of thermal stresses generated by heating and subsequent cooling processes. The advantage of line heating over mechanical forming is that it provides more freedom to achieve complex geometrical shapes such as those found in ship hulls. Another application of line heating in ship building industry is straightening of distortion of structures generated during welding assembly. This distortion if not controlled or properly corrected, can generate delays in production schedule as well as decrease of the final quality of the structure. Although line heating finds variety of applications in industry, in both as a forming and straightening process, it still relies in most of the cases on empirical knowledge of workers with years of experience. As a consequence, factors such as production costs and delivery time are difficult to control. The main objective of this research is to offer guidance to inexperienced engineers to select and control the proper heating conditions in order to efficiently make use of line heating. The dissertation is divided into six chapters: Chapter 1 starts with an overview on both thermal and mechanical plate forming. An introduction to line heating method and its forming and straightening applications are given. A literature review on line heating research is presented. Finally, the main objective of this study as well as the framework of the thesis are covered. Chapter 2 presents the tools used in this research. In this study, all thermal processes including line heating and welding are simulated through thermal elastic plastic FEM analysis. An introduction to the inherent deformation method used to evaluate the deformation due to line heating and welding is given. A new method to evaluate inherent deformation by means of cutting simulation is proposed. Finally the concept of interface element is described. In Chapter 3, the different types of heat sources used on line heating process are reviewed. Then, the accurate heat source model developed by Professor Osawa and adopted in this research is presented. Validation of the heat source model is carried out through comparison between numerical analysis and experimental measurements. Chapter 4 deals with bending of U-ribs by line heating. At first, a description of the U-rib bending process by means of gas heating is given. Comparison of temperature distributions and deformations due to gas heating evaluated in numerical analysis and measured in experiments is carried out. Influence of heating location and heating speed on the overall behavior of the U-rib is evaluated using inherent strain method. Finally, a simple mathematical model used to predict the deformation of U-rib and select heating conditions to optimize the U-rib bending process is presented. Chapter 5 discusses the application of line heating in straightening, in particular straightening of deformation generated due to welding assembly. The first half of this chapter studies the straightening of the welding angular distortion in a single stiffener stiffened panel. The effectiveness of three different heat straightening patterns commonly used in actual practice is compared. The most efficient of the three heat straightening patterns is selected in terms of energy and time consumption. The second half of this chapter considers the application of line heating to straighten the twisting deformation of a large bilge block structure. In Chapter 6, an overall summary of the thesis is given, also conclusions drawn from the computational study are presented. Needs of future studies regarding the use of line heating as both forming and straightening processes are presented.	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Juan Blandon)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	村 川 英 一
	副 査	教 授	大 沢 直 樹
	副 査	教 授	藤 久 保 昌 彦
	副 査	准 教 授	芹 澤 久

論文審査の結果の要旨

線状加熱は日本の造船所で板曲げ加工や歪取りに広く用いられている技術である。複雑な曲面の曲げ加工に柔軟に対応できる点で、線状加熱はプレスやベンディングローラーなどの機械的方法と比較して優れている。しかし、線状加熱は造船所において最後まで残された熟練技能のひとつであり、経験に培われた暗黙知に依存した技術であるため習得や継承が困難とされている。そのため、本研究では熱伝導解析および熱弾塑性あるいは弾性有限要素法を活用して線状加熱における温度履歴および変形を定量的に把握するとともに、これに基づき各種の工学的問題に線状加熱を適用する際の最適な加熱条件を提示することを目的としており、研究内容の要約は以下の通りである。

第1章では、機械的な曲げ加工と対比させながら熱加工の原理を説明するとともに、各種熱源を用いた線状加熱技術に関する既往の研究の調査を踏まえ、本研究の目的および論文の構成について述べている。

第2章では、本研究で曲げ加工や歪取りの詳細解析に用いられた熱弾塑性解析法および構造物の変形解析に用いられた固有変形法について述べるとともに、詳細解析から加熱線に発生する横収縮、縦収縮、角変形などの固有変形を抽出する新しい手法として切出し法を提案している。

第3章では、大沢らがガス加熱に対して提案した局所熱伝達係数の概念に基づく熱源モデルを熱弾塑性有限要素法に導入するとともに、ガス加熱実験と解析結果を比較し熱源モデルが十分な予測精度を有することを検証している。

第4章は、鋼製の橋桁の多くに補強部材として採用されている U リブを対象としている。カーブに設置される橋桁の U リブは溶接の前に所定の曲率にガストーチを用いた線状加熱により曲げ加工される。曲げ加工では、U リブの片側を長さ方向に加熱する方法が採用されているが、加熱線の本数、加熱位置、加熱速度は試行錯誤により経験的に定められているのが現状である。この研究では、まず計算が比較的容易である固有変形法を用いて、従来の曲げ加工の本質が目的とする面内曲りと避けるべき振れや反りの間の折合いであることを示している。次に、定量的な検討を行うために、局所熱伝達係数に基づく熱源モデルを採用した熱弾塑性解析を実施して固有変形と加熱速度の関係を明らかにするとともに、加熱位置の変形に対する影響を明らかにしている。さらに、これらの結果を合わせて任意の位置を任意の速度で加熱した時の面内曲りとそれ以外の有害な変形を計算するための数式モデルを提案し、これを用いて最適な曲げ加工条件の探索を行っている。その結果、試行錯誤で定められた従来の加工条件は得られる変形の品質の点では最適解であるが、加熱時間すなわち消費エネルギーの点ではより優れた加熱条件が存在することを示している。

第5章は、線状加熱の歪取りへの応用について述べており、防濺材の隅肉溶接で生じる角変形を対象とした歪取りに関しては、隅肉溶接により発生する角変形を熱弾塑性解析した後、造船所で一般に用いられる3種類の加熱法を用いて異なった加熱速度でガス加熱した場合の角変形を比較し、歪取りに最適な加熱法と加熱速度を示している。また、歪取りの大型構造物への適用例としてビルジブロックを対象に検討を行っている。ビルジブロックは船底と船側をつ

なぐシリンダー状のブロックで、製作時に大きな捩れ変形が生じる場合がありその原因は明らかにされていなかったが、捩れ変形は部材の精度不良でビルジ外板とフロアの間に生じたギャップを仮付け時にジャッキなどで修正した際にビルジ外板に生じる圧縮応力によって発生する座屈であることを明らかにするとともに、捩れ変形を修正するための線状加熱の方法を提案している。

第6章では、本論文で得られた研究結果を総括するとともに、今後の課題を示している。

以上のように、本論文は従来定量的には十分把握されていなかった線状加熱に対して熱伝導解析および熱弾塑性有限要素法や固有変形法を適用し加熱法および加熱速度が変形に及ぼす影響を定量的に明らかにするとともに、複数の加熱線を組合せた曲げ加工や複雑な構造物の歪取りに対して線状加熱をより効果的に活用する上での指針を示しており、工学的価値を有している。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。